

Фасонные отливки из низколегированных сплавов меди



Константин БАТЫШЕВ
Konstantin A. BATYSHEV

Александр ПОПОВ
Alexander P. POPOV



Константин СЕМЁНОВ
Konstantin G. SEMENOV

Батышев Константин Александрович – доктор технических наук, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия.
Попов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.
Семёнов Константин Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия.

Shaped Castings from Low Alloyed Copper Alloys

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 46)

Низколегированные медные сплавы являются важнейшими материалами при создании изделий в целом ряде технических отраслей, включая транспортное машиностроение. Эти сплавы в основном относятся к классу деформируемых, но существует возможность их применения для фасонного литья. В машиностроительных технологиях перспективны сплавы медь-железо с легирующими добавками, обеспечивающими получение достаточно высокой электропроводности в сочетании с высокими прочностными свойствами, что в первую очередь касается износостойких деталей. Проведены исследования, которые позволили рекомендовать подобные сплавы для технологий транспортного машиностроения.

Ключевые слова: низколегированные сплавы, медь, железо, электро- и теплопроводность, износостойкость, литейные, механические и технологические свойства, ресурсосберегающие технологии, плавка, транспортное машиностроение, фазовый анализ.

Медь продолжает оставаться основным токопроводящим материалом в электротехнике и новых технологиях. До сих пор примерно 70 % чистой меди, производимой в мире, потребляется для изготовления токопроводящих изделий. Основным недостатком продукции из чистой меди (проволока, кабели, токоведущие детали и др.) являются низкие механические свойства и интенсивное образование окалина (окиси меди) в процессе производства, что приводит к заметным потерям дефицитного металла. Включение же в состав низколегированных сплавов расширяет технические возможности меди. Однако в промышленности используется слишком мало низколегированных сплавов на её основе [1].

Среди причин – ограниченные технологические ресурсы некоторых сплавов, затрудняющие получение производных видов деформации (прокатку, волочение и др.) или качественных полуфабрикатов (слитков) в процессе литья (недостаточная

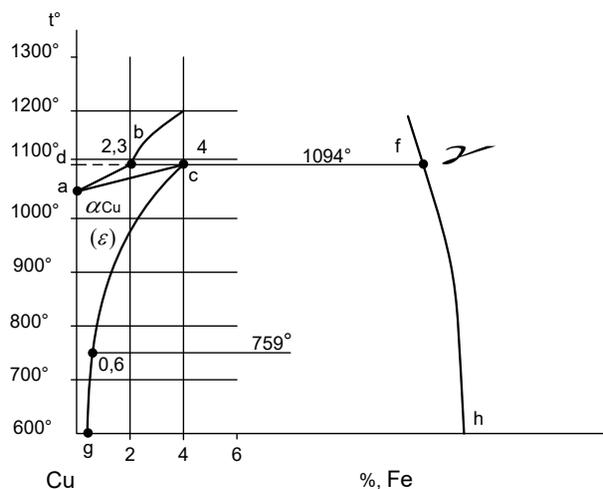


Рис. 1. Медный угол неравновесной диаграммы состояния системы медь–железо.

жидкотекучесть, склонность к пенообразованию, горячеломкость и др.) [2].

Низколегированные литейные сплавы меди, которые используются в современной технике, подразделяются на две группы [1–4]. К первой группе относятся дисперсионно-твердеющие, то есть те, у которых повышение жаропрочных свойств приобретает в результате термомеханической обработки. Другая группа базируется на сплавах, у которых подобные свойства определяются прочностью межатомных связей между основой сплава и легирующими компонентами. У этих сплавов более высокие технологические и литейные качества, но пониженные характеристики электро- и теплопроводности. Низколегированная медь является одним из первых материалов, нашедших применение в криогенной технике. Это обусловлено тем, что медь не имеет порога хладноломкости, а нижний температурный предел её использования близок к абсолютному нулю.

Стандартные низколегированные сплавы меди в основном относятся к классу деформируемых сплавов. Значительно меньшим является объём получения литейных сплавов при производстве фасонных отливок для электротехнических отраслей (контакты, питающие и соединительные, щёткодержатели, теплообменники, фурмы и др.) [5–8].

Существенные перспективы для новых технологий в электронной и электротехнической промышленности, криогенной

технике, транспортном машиностроении открывает применение низколегированных сплавов на основе системы медь–железо при изготовлении фасонных отливок.

Железо, вводимое в сплав, повышает электросопротивление меди и при этом обеспечивает дополнительные более высокие показатели прочности. В стандарты США включены четыре сплава (С19600–С19200) с содержанием железа от 0,8 до 2,6 %. В стране выпускается различная продукция в виде листов, полос, лент, прутков для различных отраслей энергомашиностроения. Группа сплавов медь–железо характеризуется как материалы с высокими показателями по электропроводности, а железистые бронзы (дисперсионно-твердеющие сплавы) – как конкуренты хромистых бронз с высокорентабельными показателями выпускаемой продукции, поскольку стоимость железа значительно ниже стоимости других традиционных легирующих в низколегированных сплавах меди [7, 8].

Для изготовления сплавов этой группы допустимо использование меди промышленной чистоты – с более высоким исходным содержанием кислорода, что предусматривает возможность использования отходов, образующихся в цветной металлургии [9, 10].

В данный момент в РФ фасонное литьё транспортного машиностроения [11], арматура контактной сети для железных дорог (питающие, соединительные зажимы



Составы опытных сплавов

№	Fe, %	P, %	Zn, %	Cu, %
1.	0,25	0,06	–	Остальное
2.	1,0	0,3	0,35	Остальное
3.	2,0	0,15	0,05–0,2	Остальное

и т.п.) производятся по выплавляемым и газифицируемым моделям из меди М0 и М1 по ГОСТ 859-2001 и алюминиевой бронзы марки БрА9ЖЗЛ по ГОСТ 493-79. Прочностные свойства чистой меди значительно уступают железистой бронзе, а электропроводность алюминиевой бронзы не превышает 50 % от электропроводности чистой меди, что приводит к значительным энергетическим потерям при передаче тока к электрическим проводам. В этой связи целесообразно использование медных сплавов с более высокой проводимостью. К таким сплавам можно отнести железистые бронзы, электропроводность которых достигает 80 % от проводимости чистой меди при сохранении уровня прочностных свойств, присущих алюминиевой бронзе.

Согласно медному углу диаграммы состояния системы Cu-Fe (рис. 1) железо практически не растворяется в меди и не оказывает существенного влияния на её тепло- и электропроводность. При переплаве лома меди, загрязнённого железом, последнее окисляется в первую очередь с образованием оксидов железа (главным образом Fe_3O_4), которые опять же не снижают существенно физико-механические свойства меди. В присутствии небольших добавок фосфора сплавы этой системы имеют относительно высокие литейные свойства и их можно рекомендовать для получения фасонных отливок.

Стояла задача определить оптимальное содержание железа и фосфора в называемых сплавах. С этой целью проводилось исследование диаграммы состояния системы Cu-Fe-P, определялся состав фаз, входящих в сплавы, оценивалась эффективность улучшения свойств сплавов [11].

Исходя из обозначенных критериев, была сделана комплексная оценка возможности применения сплавов системы медь-железо для современного транспортного машиностроения [10].

В результате проведённых исследований предпочтение отдано сплавам меди с содержанием легирующих компонентов, показанных в таблице 1.

Для приготовления сплавов использовались катодная медь марки М1 (ГОСТ 859-2002), армо-железо, лигатура Cu – 10 % P и лигатура Cu – 37 % Zn (в виде латуни марки Л63). Расчёт вводимого количества железа проводился с учётом возможного его угара до 0,3 %. Расчёт количества фосфора, вводимого в виде лигатуры, делался с учётом угара фосфора на 50 %, а также раскисления расплава меди фосфором на 25 %. Расчёт количества цинка, вводимого в виде лигатуры Cu – 37 % Zn, учитывал вероятность угара цинка до 1 % [13, 14].

Отработка технологических режимов плавки низколегированных сплавов меди с железом реализовывалась с учётом специфики физико-химических процессов, так как различные свойства образующихся продуктов окисления затрудняют последующее рафинирование меди и медных сплавов.

Плавки низколегированных сплавов меди шли в индукционной высокочастотной печи ИСТ-006 в графито-шамотном тигле [14, 15]. Температура заливки сплавов составляла 1220–1240°C. Заливку осуществляли в тонкостенные неразъёмные оболочковые формы ЛВМ с температурой 480–500°C.

В результате опытов было получено по пять-шесть качественных отливок из исследуемых составов сплавов. Все отливки имели достаточно чистую и ровную поверхность красно-жёлтого цвета (золотистого) [16]. Наиболее высокими прочностными характеристиками, как и следовало ожидать, обладал сплав № 3: предел прочности – 280–300 МПа, относительное удлинение – 33–35 %, твёрдость по Бринеллю – 60–70, электропроводность – 80 % чистой меди.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные сплавы и отливки из них предложены для использования при производстве фасонного литья по выплавляемым моделям вместо отливок из алюминиевой бронзы марки БрА9ЖЗЛ по ГОСТ 493-79.

Низколегированные сплавы медь–железо могут быть рекомендованы к применению в двигательных системах на электрической тяге, включая продукцию железнодорожного транспортного машиностроения. Они формируют самый большой рынок подобных двигательных систем, ибо их неотъемлемой частью являются медные компоненты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чурсин В. М. Перспективы синтеза низколегированных сплавов на основе меди // Цветная металлургия. – 2004. – № 5. – С. 71–77.
2. Чурсин В. М. Современные низколегированные сплавы на основе меди. – Ч. 1 // Технология металлов. – 2004. – № 5. – С. 18–22.
3. Чурсин В. М. Современные низколегированные сплавы на основе меди. – Ч. 2 // Технология металлов. – 2004. – № 6. – С. 17–21.
4. Николаев А. К. О проблеме электродных сплавов и электродов контактной сварки // РИТМ. – 2009. – № 1. – С. 30–32.
5. Николаев А. К., Костин С. А. Медь и жаропрочные медные сплавы: Энциклопедический терминологический словарь: фундаментальный справочник. – М.: ДПК Пресс, 2012. – 715 с.
6. Чурсин В. М., Гофеншефер Л. И. Составы и свойства окалиностойких низколегированных медных спла-

вов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2001. – № 1. – С. 17–19. [Электронный ресурс]: <https://cvmnet.misis.ru/jour/issue/view/36>. Доступ 28.12.2017.

7. Семёнов К. Г., Панкратов С. Н., Колосков С. В. Разработка современных низколегированных медных сплавов для машиностроения // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 4. – С. 19–21.

8. Семёнов К. Г., Батышев К. А., Панкратов С. Н., Колосков С. В. Низколегированные сплавы меди для новых технологий // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 5. – С. 22–24.

9. Чурсин В. М., Семёнов К. Г. Рациональное использование отходов меди, загрязнённых железом на металлургических предприятиях // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2000. – № 2. – С. 37–40.

10. Семёнов К. Г., Шаршуев М. Е. Критерии оценки диаграмм состояния системы медь–железо // Технология металлов. – 2011. – № 6. – С. 22–25.

11. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2005. – 408 с.

12. Панкратов С. Н., Чурсин В. М., Ковригин В. А., Кунин М. Д. Литейные свойства низколегированных медных сплавов // Цветные металлы. – 1994. – № 9. – С. 63–66.

13. Панкратов С. Н., Семёнов К. Г., Батышев К. А. Влияние микролегирования на литейные свойства меди // Заготовительные производства в машиностроении. – 2014. – № 9. – С. 18–20.

14. Семёнов К. Г., Батышев К. А. Особенности плавки низколегированных сплавов на основе меди в индукционных печах // Электromеталлургия. – 2017. – № 9. – С. 2–6.

15. Семёнов К. Г., Филиппов С. Ф., Шаршуев М. Е., Казаков П. И. Металлургические особенности плавки низколегированных сплавов на основе меди // Цветная металлургия. – 2013. – № 6. – С. 44–51.

16. Семёнов К. Г., Батышев К. А., Панкратов С. Н. Получение новых низколегированных сплавов систем Cu–Fe для отливок в машиностроении // Технология металлов. – 2017. – № 8. – С. 2–6.

Координаты авторов: **Батышев К. А.** – konstbat63@mail.ru, **Попов А. П.** – pap60@bk.ru, **Семёнов К. Г.** – semenovkg@bmsstu.ru.

Статья поступила в редакцию 28.12.2017, принята к публикации 17.08.2018.

